Revista CIENCIA **Vol. 20, 1, 35-44 (2018)**

USE OF CERAMIC WASTE AS A CEMENT SUBSTITUTE IN THE MORTAR MANUFACTURE

Paulina Viera, Carla Chicaiza

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Civil
lviera@uce.edu.ec ; cachicaizac@uce.edu.ec

Received: December 2017. Accepted: January 2018

ABSTRACT

During this research, the use of crushed ceramic residues was studied. They came from a factory in Quito as material used for substituting the cement in mortars. The mortar was made with cement in a 100%, and then compared with mortar with different percentages of crushed ceramic (3%, 5%, 7%, 10%, 15%). It is observed that the mortar compression strength is similar up to percentages of 10% of crushed ceramics. It is concluded that the use of ceramic waste would reduce the cost of mortars, maintaining its strength. The characterization of the materials used to make the mortar was made by using ruled essays of the ASTM (American Society Testing Materials) and the NTE (Ecuadorian Technical Rules).

Key words: crushed ceramic mortars, mortar dossification, compression strength.

Uso de residuos cerámicos como sustituto del cemento para fabricación de morteros

RESUMEN

En la presente investigación se estudia el uso de desechos cerámicos triturados, obtenidos en una fábrica de Quito, como material sustituto de cemento para la fabricación de morteros. Se compara la resistencia a compresión del mortero elaborado con 100% de cemento y del elaborado con diferentes porcentajes de cerámica triturada (3%, 5%, 7%, 10%, 15%) en sustitución del cemento. Se observa que la resistencia es similar hasta porcentajes del 10% de cerámica triturada. Se concluye que el uso de desechos cerámicos permitiría reducir el costo de los morteros, manteniendo su resistencia. La caracterización de los materiales constituyentes del mortero y su resistencia se efectuó utilizando las normas de la ASTM (American Society Testing Materials) y NTE (Norma Técnica Ecuatoriana).

Palabras claves: mortero con cerámica triturada, dosificación de mortero, resistencia a la compresión.

1. INTRODUCCIÓN

Para la producción de cemento se requiere gran consumo de energía y es necesaria una gran cantidad de materia prima. Esto además de agotar los recursos naturales, contamina el medio ambiente [8], [9], [11], [19]. La problemática de la sustitución del cemento ha sido estudiada a nivel mundial y latinoamericano. Por ejemplo:

En el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC-España, se realizó la *Investigación sobre la actividad puzolánica de materiales de desecho procedentes de arcilla calcinada* [21]. Llegándose a las siguientes conclusiones:

- Viabilidad de utilización de materiales de desecho de arcilla cocida como puzolanas y sustitutivo parcial del cemento.
- La actividad puzolánica del polvo proveniente de arcilla cocida a primeras edades, es decir entre 1 y 5 días de fraguado, sería superior.
- El calor desarrollado en la hidratación del cemento con un 20% de arcilla cocida, es inferior al cemento base según resultados por calorimetría Langavant, en los que se comprueba cómo el material de arcilla cocida rebaja en todo momento el calor desarrollado durante el proceso de hidratación del cemento mixto elaborado.

En la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, se realizó el *Estudio sobre pastas y morteros de cemento portland con reemplazo por loza sanitaria* [20]. Concluyéndose que:

- La resistencia mecánica de los morteros con losa sanitaria tuvo valores por encima del proporcional del patrón desde las edades iníciales.
- De acuerdo al ensayo de Frattini, la loza sanitaria inicia su reacción puzolánica entre los 2 y los 7 días, dando a 28 días resultados positivos para todos los porcentajes de reemplazo.
- La incorporación de loza sanitaria durante las primeras etapas de hidratación del cemento, retrasa y alarga el período durmiente y atenúa la máxima velocidad de liberación de calor con el aumento del porcentaje de reemplazo.
- La loza sanitaria tiene incidencia sobre la fluidez ya que ésta disminuye con el aumento del porcentaje de reemplazo; sin embargo se mantiene en todos los casos en ± 10% del patrón.

En el Ecuador no se ha realizado un estudio acerca de la reutilización de cerámica desechada como material alternativo al cemento para elaboración de morteros. La tesis de investigación [3], en la que se basa este artículo, cubre este vacío. En ella se emplean los residuos cerámicos provenientes de la industria sanitaria como sustituto del cemento. Su uso rendiría múltiples beneficios. Por ejemplo, la empresa Franz Viegener genera 50 ton de desechos que van a parar a los rellenos de la ciudad [3], [4]. Parte de estos desechos podrían reutilizarse, disminuyendo su cantidad y aumentando la vida útil de las escombreras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del mortero se utilizaron los siguientes materiales:

- Cemento Holcim Rocafuerte tipo GU-*uso general*- [15]
- Agua potable de la red del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)
- Arena de la mina Fucusucu III en San Antonio de Pichincha
- Polvo de cerámica triturada de desecho de la fábrica Franz Viegener.

La mezcla patrón fue dosificada para obtener una resistencia mínima de aproximadamente 33 MPa, según lo indica la Norma Técnica INEN 488 (pág. 11).Las cantidades de materiales también se establecieron de acuerdo a la norma NTE INEN 488 [27]. Hechas las correcciones necesarias, se obtiene para la mezcla patrón las cantidades indicadas en la Tabla 1:

Tabla 1 Cantidades y dosificación final.

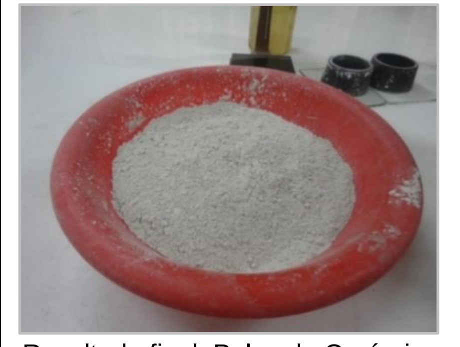
Dosificación	a/c	Agua (cm^3)	Cemento (g)	Arena(g)	Resistencia(Mpa)	Flujo
1:2,75	0.6	300	500	1375	26,28	111%

Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

Luego de haber obtenido la mezcla patrón se procedió a sustituir un porcentaje de la cantidad de cemento requerida por porcentajes de polvo cerámico. La cerámica de desecho se obtuvo de las bodegas de la empresa Franz Viegener. Luego, se realizó un cuarteo manual y la trituración en la máquina de los Ángeles. El proceso se ejemplifica en Figura 1 a continuación:



Piezas donadas en fv



Resultado final: Polvo de Cerámica que pasa el tamiz 200

Figura 1 Cerámica.
Fuente: Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

Antes de la elaboración del mortero, se realizó un análisis químico de una muestra de 1Kg de polvo de cerámica triturada, del que se obtuvieron los resultados indicados en la Tabla 2:

Tabla 2 Análisis químico de una muestra de polvo de cerámica triturada

RESULTADOS			
PARÁMETROS	**UNIDADES**	**RESULTADOS**	**MÉTODOS**
Aluminio	mg/kg	596,2	ABSORCIÓN ATÓMICA
Calcio	mg/kg	798,3	ABSORCIÓN ATÓMICA
Hierro total	mg/kg	637,04	ABSORCIÓN ATÓMICA
Magnesio	mg/kg	91,6	ABSORCIÓN ATÓMICA
*silicio	% p/p	22	COLORIMÉTRICO MERCK

Fuente Laboratorio de Ingeniería Química UCE (2016)

Al verificar que los componentes de la cerámica son Al, Ca, Si, se establece que tiene propiedades puzolánicas. Nótese que las puzolanas no son cementosas en sí, pero cuando son molidas finamente y mezcladas con cal, la mezcla fraguará y endurecerá a temperaturas normales.

2.1 Ensayos realizados:

Establecidas las propiedades puzolánicas, se pulverizó la cerámica hasta convertirla en polvo tal que pueda pasar el tamiz N° 200, que es una de las características físicas del cemento.

Además, se ejecutaron los ensayos para caracterización de materiales como se indica en la tabla 3:

Tabla 3 Ensayos para la caracterización de materiales

Para arena:	
Colorimetría	NTE INEN 866; ASTM C-40
Granulometría	NTE INEN 696; ASTM C-136
Capacidad de absorción	NTE INEN 856; ASTM C-128
Densidad de volumen en estado SSS	NTE INEN 856; ASTM C-128
Densidad aparente suelta y compactada	NTE INEN 858; ASTM C-29
Contenido de humedad	NTE INEN 856; ASTM C-128
Para cemento:	
Densidad real del cemento	NTE INEN 156; ASTM C-188.
Consistencia normal	NTE INEN 156; ASTM C-188
Tiempo de fraguado del cemento	NTE INEN 158; ASTM C-266
Para cerámica:	
Densidad real	NTE INEN 156; ASTM C-188
Propiedades químicas	Tabla 1
Para mortero:	
Flujo de mortero	NTE INEN 2502; ASTM C-1437
Para obtención de resistencia:	
Ensayo a compresión simple	NTE INEN 488; ASTM C-109

Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

Se realizaron 288 cubos de mortero. Según lo que indica la norma INEN 488, éstos se ensayaron a edades de 1, 3, 7 y 28 días. Se usaron dos amasadas de 6 especímenes cada una. Lo anterior se realizó para cada porcentaje de sustitución y cada edad. Obsérvese la Tabla 4:

Tabla 4 Cantidades de cubos de mortero a edades y porcentajes

AMASADAS N°	CUBOS CANTIDAD	CEMENTO %	CERÁMICA %	ENSAYO DÍAS
2	12	100	0	1,3,7,28
2	12	97	3	1,3,7,28
2	12	95	5	1,3,7,28
2	12	93	7	1,3,7,28
2	12	90	10	1,3,7,28
2	12	85	15	1,3,7,28

Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

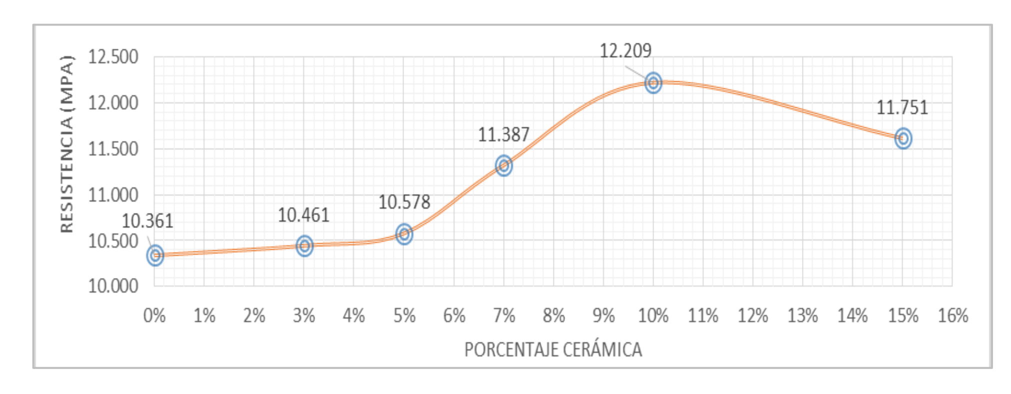


Figura 2 Diagrama Porcentaje De Sustitución Vs Resistencia De Mortero A 1 Día De Fraguado**.**

Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

Se observa en Fig.2 que la resistencia del mortero se mantiene estable hasta un valor de 10.578 MPa, con un porcentaje de sustitución del 5%, para luego subir y alcanzar un máximo, en el porcentaje de sustitución del 10%, de 12.209 MPa. Estos resultados son a 1 día de fraguado.

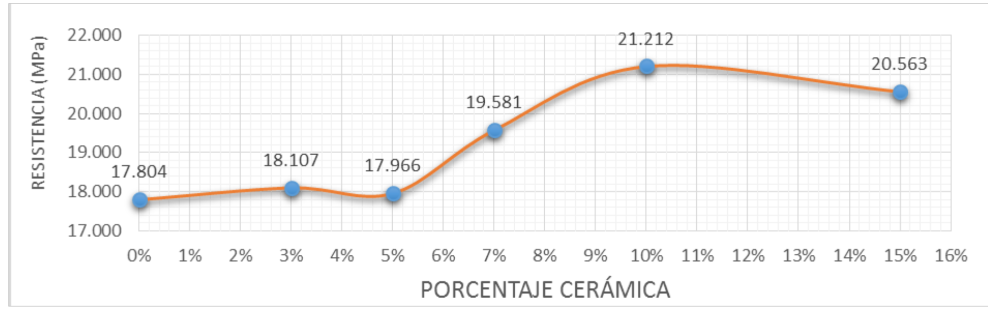


Figura 3 Diagrama Porcentaje De Sustitución Vs Resistencia De Mortero A 3 Días De Fraguado
Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

Como se puede observar en Fig. 3 hay una tendencia de incremento de la resistencia del mortero similar a la de la Fig. 2, pero en este caso a 3 días de fraguado.

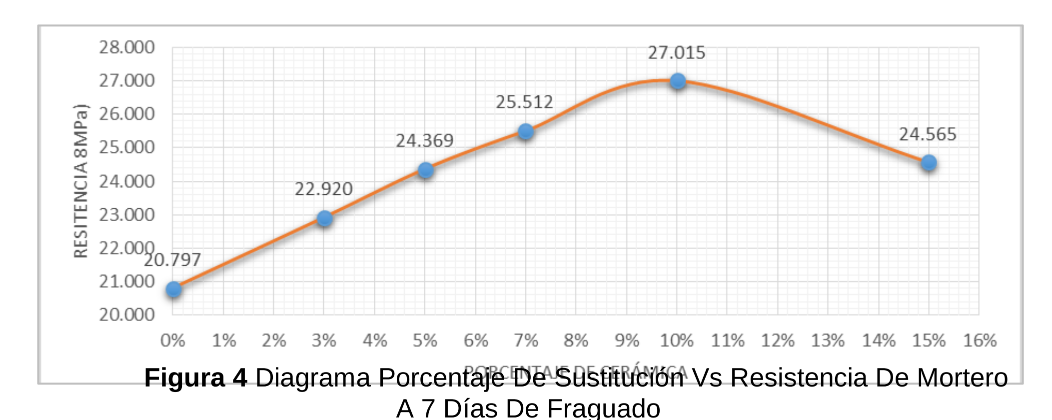


Figura 4 Diagrama Porcentaje De Sustitución Vs Resistencia De Mortero A 7 Días De Fraguado
Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

En Fig. 4, se observa que a los 7 días de fraguado hay una tendencia de incremento de resistencia para todos los porcentajes de sustitución con residuos cerámicos. En todo caso, el punto de máxima resistencia se obtiene cuando la sustitución con residuos cerámicos es del 10%.

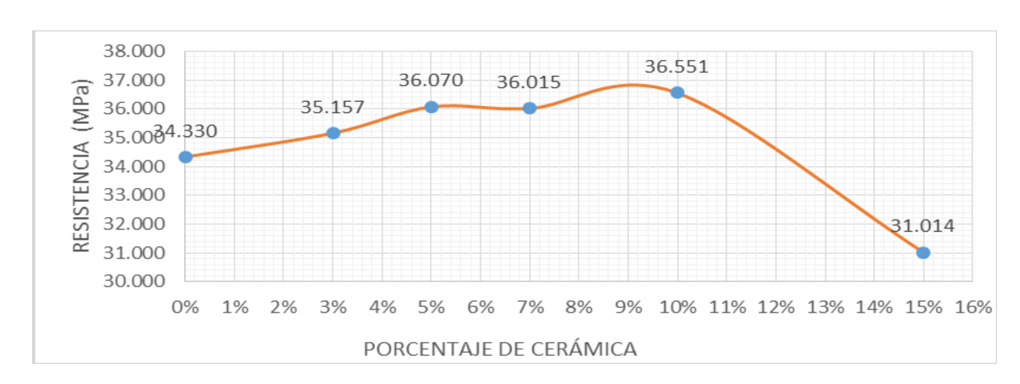


Figura 5 Diagrama Porcentaje De Sustitución Vs Resistencia De Mortero A 28 Días De Fraguado
Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

En Fig.5 se observa que la resistencia a los 28 días es similar, sin sustitución del cemento y con porcentajes del 5%, 7% y 10%. La mayor resistencia es obtenida, nuevamente, con un porcentaje de sustitución del 10%, alcanzando un incremento del 4% respecto al caso sin sustitución. Es también notable una disminución de la resistencia cuando el porcentaje de sustitución alcanza el 15%.

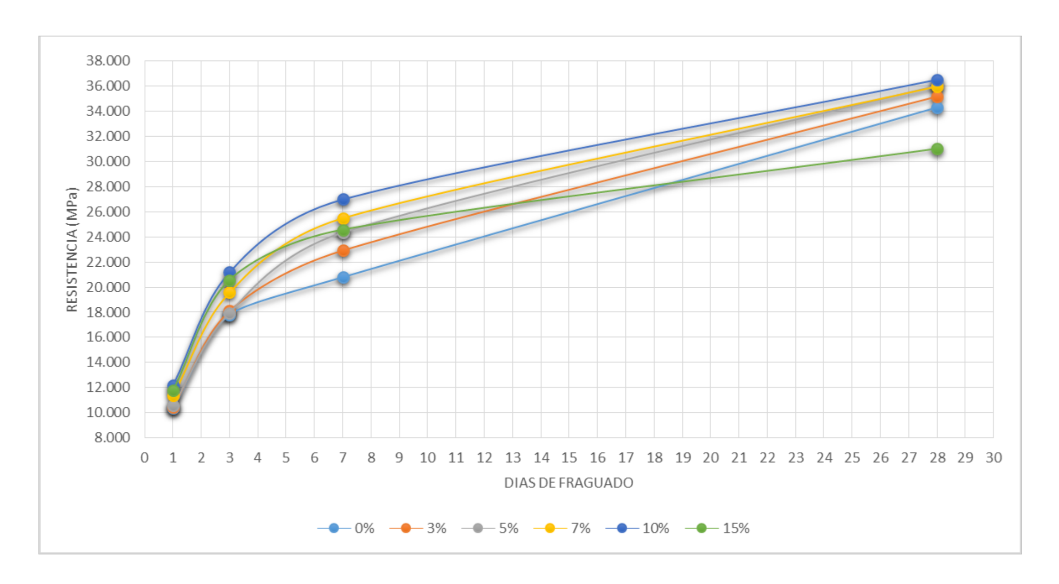


Figura 6 Diagrama Días De Fraguado Vs Resistencia**.**
Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

En Fig. 6 se ve que la línea que corresponde a la muestra matriz de cemento sin sustitución de polvo de cerámica sigue la misma tendencia que la línea que indica la sustitución del 10%. Hay un incremento promedio del 7% entre la una y la otra. Una tendencia que se mantiene en todos sus puntos. Se observa además que la mayor resistencia a la compresión se obtiene con 10% de cerámica de sustitución, y que la menor resistencia a la compresión se da con el 15% de cerámica de sustitución.

Los resultados anteriores se resumen en la Tabla 5 a continuación:

Tabla 5 Resumen de promedios de resistencia a compresión simple. 1, 3, 7, y 28 días de fraguado.

	RESUMEN (MPa)			
DÍAS	1	3	7	28
0%	10,361	17,804	20,800	34,330
3%	10,461	18,107	22,920	35,160
5%	10,578	17,966	24,369	36,070
7%	11,387	19,581	25,512	36,012
10%	12,209	21,212	27,015	36,551
15%	11,751	20,563	24,565	31,014

Nota Resultado máximo36.551 MPa.
Fuente Chicaiza C. A., Guerra G. J., Viera L. P., (2017)

4. CONCLUSIONES

En el análisis químico realizado en el polvo de cerámica se observaron componentes puzolánicos similares a los que contiene el cemento. Estos componentes son: Aluminio, Calcio, Hierro, Magnesio y Silicio.

Se realizaron 5 sustituciones de cemento tipo GU por polvo cerámico en porcentajes de 3%, 5%, 7%, 10% y 15%. El reemplazo que generó una mayor resistencia a la compresión es del 10% de cemento por polvo de cerámica.

Sin embargo, en el ensayo a compresión con el reemplazo de 15% la resistencia disminuyó a 31.014 MPa

Se comprobó que el polvo cerámico aumenta la resistencia del mortero en los primeros días, para llegar a valores ligeramente superiores a los 28 días.

Se podría por tanto aprovechar el material que actualmente se desecha en las fábricas de cerámica sanitaria.

Finalmente, los resultados presentados en este artículo muestran que el reemplazo de cemento con polvo cerámico de una fábrica típica en Quito, Ecuador, es una alternativa válida para reducir costos sin perder resistencia en los morteros de cemento.

REFERENCIAS

1. F.V. Área Andina S.A. (2014). Manual FV Área Andina S.A. División Grifería, División Sanitarios, División Comercial, División Industrial. Quito.
2. Garzón M. (2010). Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón. UCE. Quito-Ecuador.
3. Chicaiza C. A. & Guerra G. J. (2017). "Estudio del uso de residuos cerámicos como sustituto de un porcentaje del cemento para la fabricación de morteros"
4. Cachago, M. & Caguano C. (2016). Utilización De Lodos De La Planta De ratamiento De Agua Residual De La Empresa Franz Viegener F.V.-Área Andina S.A. Para La Elaboración De Ladrillos Artesanales. Recuperado de Repositorio UCE: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/11121/1/T-UCE-0011-221.pdf
5. Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/
6. Silvina Zito; Edgardo Irassar; Viviana Rahhal. (2016). Estudio sobre pastas y morteros de cemento portland con reemplazo por losa sanitaria. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: http://www.redalyc.org/pdf/3236/323646310007.pdf
7. Ñauta Ñauta David Esteban, (2009). Utilización de residuos de la fábrica de

productos cerámicos del pueblo de Calabazar como material puzolánico. Universidad de Cuenca. La Habana. Recuperado de: http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/7492
8. EMASEO (2012). Consultoría para la realización de un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos domésticos y asimilables a domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado de: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf
9. CENEC (2011). CENSO NACIONAL ECONÓMICO (CENEC) FASE II: ENCUESTA EXHAUSTIVA 2011. Recuperado de: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_Economic as/Encuesta_Exhaustiva/Presentacion_Exhaustiva.pdf
10. Hurtado F. J. (2014). Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera Ramírez para f'c = 21 MPa. Recuperado de Repositorio UCE: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2575/1/T-UCE-0011-90.pdf
11. El Telégrafo. (2015). Quito recicla 640 toneladas de basura al mes. Recuperado de: http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/11/quito-recicla-640-toneladas-de- basura-al-mes
12. Edwin Santiago Silva. (2007) La impermeabilización en construcciones nuevas y existentes. Quito. Ecuador. Recuperado de Repositorio EPN: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1310
13. Departamento de Mecánica Estructural Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" .s.f. "Determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento". San Salvador, El Salvador. Recuperado de: http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Fraguado %20incial%20y%20final%20del%20cemento.pdf
14. Laines T. B., & Grijalva F. G (2016). "Diseño de morteros fotoluminiscentes aplicados de forma ornamental y señalización en caso de emergencia para edificaciones".Recuperado de Repositorio UCE: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8008/1/T-UCE-0011-262.pdf
15. Holcim. (2011). Cemento Holcim Rocafuerte Tipo GU. Recuperado de Holcim Ecuador: http://www.holcim.com.ec/fileadmin/templates/EC/doc/Archivos_varios/Folleto _Cemento_Holcim_GU.pdf
16. Gerardo A. Rivera L. (2009). Concreto Simple. Dosificación De Morteros. Recuperado de: ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC y GEOTEC SEM 2 de 2010/Tecnología del Concreto - PDF ver. 2009/Cap. 09 - Dosificación de morteros.pdf
17. Constructor Civil (2011). Calor de Hidratación del Cemento Portland. Recuperado de: http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/calor-de-hidratacion-del-cemento.html
18. Sánchez D, (2010). Tecnología del Concreto y del Mortero, 5ta edición, Editorial Javeriana. Asociación de Productores de Concreto. ASOCRETO.
19. Secretaría Del Ambiente (2017). Manual Casa Adentro. Recuperado de: http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria
20. Silvina Zito; Edgardo Irassar; Viviana Rahhal. (2016). Estudio sobre pastas y morteros de cemento portland con reemplazo por losa sanitaria. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: http://www.redalyc.org/pdf/3236/323646310007.pdf

21. M. I. Sánchez De Rojas, M. Frías, J. Rivera, M. J. Escorihuela Y F. P. Marín (2000).Investigación sobre la actividad puzolánica de materiales de desecho procedentes de arcilla cocida. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC. Recuperado de: http://digital.csic.es/bitstream/10261/35781/1/425.pdf
22. NTE INEN 156. (2009) Cemento hidráulico. Determinación de la densidad. INEN.
23. NTE INEN 158. (2009), Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat: INEN.
24. NTE INEN 152. (2010). Cemento Portland. Requisitos. Quito: INEN.
25. NTE INEN 155, (2009) Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica. INEN
26. NTE INEN 157. (2009) Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat. INEN.
27. NTE INEN 488. (2009). Cemento Hidráulico: Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista. Quito: INEN.
28. NTE INEN 855. (2010). Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. INEN.
29. NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. INEN.
30. NTE INEN 856. (2010). Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para mortero. Quito: INEN.
31. NTE INEN 858, (2010) Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos. INEN.
32. NTE INEN 860. (2011) Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. INEN
33. NTE INEN 873. (2015). Arena normalizada. Requisitos. Quito: INEN.
34. NTE INEN 2502. (2009) Cemento hidráulico. Determinación del flujo de morteros. INEN.